

12. Falconer, S. L. Frequency Domain Equalization for Single-Carrier Broadband Wireless Systems [Text] / S. L. Falconer, S. L. Ariyavisitakul, A. Benyamin-Seeyar, B. Eidson // IEEE Communications Magazine. – 2002. – Vol. 40, Issue 4. – P. 58–66. doi: 10.1109/35.995852
13. Myung, H. Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission [Text] / H. Myung, J. Lim, D. Goodman // IEEE Vehicular Technology Magazine. – 2006. – Vol. 1, Issue 3. – P. 30–38. doi: 10.1109/mvt.2006.307304
14. Lindner, J. Informations ubertragung: Grundlagen der Kommunikations technik Springer [Text] / J. Lindner. – Berlin, 2004. – 474 p. doi: 10.1007/b137971
15. Hagenauer, J. Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes [Text] / J. Hagenauer, E. Offer, L. Papke // IEEE Transactions on Information Theory. – 1996. – Vol. 42, Issue 2. – P. 429–445. doi: 10.1109/18.485714
16. Sklar, B. A Primer on Turbo Code Concepts [Text] / B. Sklar // IEEE Communications Magazine. – 1997. – Vol. 35, Issue 12. – P. 94–102. doi: 10.1109/35.642838

*В умовах інформаційної надмірності рішення задачі оптимального використання оцінок одного і того ж вектора стану, отриманих різними вимірниками одночасно, передбачає їх вагове підсумовування. Але матриця вагових коефіцієнтів, що входить у вираз для визначення результуючої оцінки, залежить від значень параметрів, які вимірюються, і апріорно не завжди відомі. Проведено аналіз впливу помилок визначення матриці вагових коефіцієнтів на точність результуючої оцінки*

*Ключові слова: об'єднання інформації, вимірювання параметрів, незалежні вимірники, фільтрація оцінок, матриця вагових коефіцієнтів*

*В условиях информационной избыточности решение задачи оптимального использования оценок одного и того же вектора состояния, полученного различными измерителями одновременно, предполагает их весовое суммирование. Однако матрица весовых коэффициентов, входящая в выражение определения результирующей оценки, зависит от значений измеряемого параметра и априорно не всегда известна. Проведен анализ влияния ошибок матрицы весовых коэффициентов на точность результирующей оценки*

*Ключевые слова: объединение информации, измерение параметров, независимые измерители, фильтрация оценок, матрица весовых коэффициентов*

УДК 355.58

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.44235

# ВПЛИВ ПОМИЛОК НА ТОЧНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОСТОРОВОГО МОНІТОРИНГУ В УМОВАХ НАДЛИШКОВОСТІ ІНФОРМАЦІЇ

**Ю. В. Кулявець**

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра безпеки

життєдіяльності та інженерної екології\*

E-mail: yuriy.kulyavec@mail.ru

**О. І. Богатов**

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності\*

E-mail: bogatovoleg@mail.ru

**О. А. Єрмакова**

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра інженерної та комп'ютерної графіки\*

E-mail: ermelene@mail.ru

\*Харківський національний

автомобільно-дорожній університет

вул. Петровського, 25, м. Харків, Україна, 61002

## 1. Вступ

Виявлення небезпечних факторів надзвичайних ситуацій здійснюється за допомогою систем моніторингу різного рівня. Реалізація завдань моніторингу потребує наявності комплексу даних, які обґрунтовують прийняття рішень щодо забезпечення безпеки життя і діяльності населення, що мешкає та працює на територіях, які підпадають під вплив небезпечних і шкідливих факторів аварій, катастроф та стихійних лих. Причому, йдеться не про окремі спостереження,

а про їхній комплекс, оскільки тільки інформація про відповідні параметри може надати правдиву картину подій, що відбуваються, умов розвитку і як наслідок забезпечити прийняття адекватних заходів щодо попередження їхнього виникнення.

## 2. Аналіз досліджень літератури та постановка задачі

До числа найбільш важливих джерел отримання достовірної інформації відносяться вимірювання по-

точних значень параметрів і характеристик потенційно небезпечних об'єктів і процесів, (а найчастіше - їх відхилень від номінальних величин), які свідчать про критичні ситуації. Тобто мова йдеться про достовірність (надійність, точність) результатів вимірювань. Оцінка точності результату вимірювань в загальному випадку вимагає вичерпної інформації про рівняння вимірювань – співвідношення, що пов'язує шукані величини з безпосередньо вимірюваними, а також іншими величинами, істотними для розглянутої вимірювальної задачі. Облік чинників, що впливають на зниження вірогідності, дозволяє ще на етапі проектування систем моніторингу закласти основи не тільки для контролю та аналізу, але і для забезпечення і навіть підвищення достовірності інформації в системі. Це підвищення можливо здійснити на основі системного підходу шляхом введення інформаційної надмірності в поєднанні з використанням високо надійних і перешкодозахищених технічних і програмних засобів, постійним контролем і прогнозуванням стану всіх компонентів системи моніторингу, а також з використанням відповідних організаційних заходів і методів оцінки результатів.

Забезпечення користувачів достовірною, своєчасною інформацією передбачає використання сукупності датчиків (вимірювачів), просторово (територіально) рознесених на місцевості. Вимоги безперервності вихідних даних призводить до такого розміщення на місцевості джерел інформації, при якому забезпечується перекриття їх зон відповідальності (зон вимірювання) по всій сукупності інформаційних параметрів, що вимірюються. В той же час необхідність в одночасному вимірюванні одних і тих же параметрів на тлі перешкод за допомогою пристроїв і систем, що працюють на різних фізичних принципах, обумовлена тим, що кожен вимірювач окремо не задовольняє всім необхідним вимогам.

Вимоги до побудови структурних підсистем моніторингу надзвичайних ситуацій, у тому числі забезпечення моніторингу радіаційної безпеки, а також апарат математичного моделювання систем моніторингу надзвичайних ситуацій наводяться в роботі [1]. В [2] показано, що методика виконання вимірювань показників надзвичайної ситуації повинна включати певну частку надлишковості, яка дозволяє критично оцінювати процес вимірювань, а програма попередньої обробки результатів вимірювань повинна включати підпрограму аналізу достовірності вимірювань, забезпечену надійними оцінками меж невизначеності, отриманих на основі дослідження характеристик процесів вимірювань, і також дозволяє здійснювати контроль параметрів вимірювального процесу в режимі реального часу. Структура теорії надлишкових вимірювань, сутність, основні поняття і деякі визначення, що стосуються даної теорії, викладено в [3]. В [4] підкреслюється, що надмірність в інформації передбачає існування додаткових залежностей між вимірюваною величиною і параметрами вихідного сигналу. В [5] основна увага приділяється виявленню впливу надмірності вимірювань на точність оцінок. В [6] підкреслюється, що підвищення точності обробки траєкторної інформації відбувається за рахунок обліку часової і просторової надмірності даних, та взаємної кореляції помилок вимірювань. В [7] розглянуті можливості використання надмірності для окремих методів оцінювання. В [8] запропоновано уза-

гальнений метод статистичних оцінок положення об'єкта при наявності надлишкової первинної інформації за рахунок послідовних наближень. Питання, пов'язані з аналізом тестових методів підвищення точності результатів вимірювання електричних величин, розглянуто в [9]. В [10] наведено метод розв'язання перевизначеної системи рівнянь шляхом знаходження мінімуму квадратичного функціоналу з метою розрахунку координат цілі з використанням різницево-далекомірною методу при використанні надлишкових даних. В [11] підкреслюється, що використання надлишкової інформації для знаходження результуючої оцінки може призвести до значного ускладнення розв'язуваної задачі. Це визначає пошук шляхів квазіоптимальних методів оцінювання і раціональної побудови систем, що не використовують надмірність первинних вимірювань [12]. Так в [13] розглядаються топологічні показники, що залежать від структури мережі і розстановки вимірювань на ній. Метод, зводиться до побудови зваженого гіперграфу вимірювань і пошуку на ньому найкоротших шляхів. Алгоритм комплексування, запропонований в [14], передбачає використання автомобільних датчиків швидкостей обертання коліс при відсутності сигналу навігаційної апаратури споживачів супутникових радіонавігаційних систем. Корекція втрачених даних супутникових радіонавігаційних систем за даними інерціальної навігаційної системи розглядається в [15]. В [16] показано, що застосування систем стільникового зв'язку в навігаційних системах доцільно лише при пропажі сигналів від супутникових радіонавігаційних систем з використанням адаптивних алгоритмів обробки. В [17] пропонується застосовувати підхід, що складається в комплексуванні декількох наборів вимірювань різної природи з використанням математичних моделей руху. Прикладом може служити спільна обробка показань акселерометра і системи відеоаналізу. В [18] описується методика комплексування даних, отриманих в трьох спектральних діапазонах – мікрохвильовому, інфрачервоному і оптичному, за допомогою трьох типів датчиків – радіометра, тепловізора і відеокмери. Результатом роботи всіх трьох типів датчиків є цифрове зображення сукупності об'єктів, засноване на виконанні унітарних перетворень спектрально-нальних даних. В [19] запропоновано метод для визначення коефіцієнтів настройки фільтра комплексування при обробці польотної інформації. Запропонований метод призначений для ідентифікації траєкторії руху літального апарата.

Тим часом, часто в умовах інформаційної надмірності є можливість отримання оцінки різними порівняно простими вимірювачами. Тоді завдання використання інформаційної надлишковості зводиться до знаходження оптимальних алгоритмів об'єднання оцінок, отриманих різними вимірювачами.

### 3. Мета і завдання дослідження

Метою досліджень є подальший розвиток алгоритмів об'єднання надлишкової інформації, зокрема проведення аналізу впливу помилок визначення матриці вагових коефіцієнтів на точність результуючої оцінки.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

- замінити оптимальне значення матриці вагових коефіцієнтів її оцінкою;
- доповнити результуючу оцінку параметру складовими матриці вагових коефіцієнтів;
- розглянути структуру кореляційної матриці помилок результуючої оцінки з урахуванням оцінки матриці вагових коефіцієнтів;
- розглянути можливості спрощення отриманих результатів з метою зручності подальшого аналізу.

#### 4. Аналіз впливу помилок визначення матриці вагових коефіцієнтів на точність результуючої оцінки

В [20] було показано, що в умовах інформаційної надмірності рішення задачі оптимального використання оцінок одного і того ж вектора стану, отриманих різними вимірювачами одночасно, звелось до послідовного застосування алгоритму фільтрації оцінок:

$$\hat{\alpha}_p = \hat{\alpha}_{lv} + C_p^{-1} C_m (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_{lv}); \quad (1)$$

$$C_p = C_{lv} + C_m, \quad (2)$$

де

$$\hat{\alpha}_{lv} = \hat{\alpha}_{lv} - C_{lv}^{-1} C_v (\hat{\alpha}_v - \hat{\alpha}_l);$$

$$C_{lv} = C_l + C_v.$$

Вираз (1) визначає оптимальне правило знаходження результуючої оцінки параметра, а вираз (2) – результуючої точності оцінки. Ці вирази, характеризуючи вимірювання поточних параметрів, структурно подібні формулами отримання оцінок з урахуванням досвідних даних, наведених, наприклад, в [5, 24, 25]. Проте істотно відрізняються методикою одержання, які в (1) і (2) використовуються як апіорні дані. В [20] також показано, що відсутності спільного параметра для різних методів отримання вектора стану оцінки, отримані різними вимірювачами, є незалежними. Тоді в алгоритмі отримання результуючої оцінки дані вектора стану, отримані одним вимірювачем, безпосередньо використовуються як прогнозовані для іншого вимірювача. У разі комплексування інформації незалежних вимірювачів алгоритм отримання результуючої оцінки вектора стану  $\hat{\alpha}_p$  значно спрощується і передбачає вагове підсумовування одночасно отриманих оцінок вектора стану одного  $\hat{\alpha}_p = f_l(\hat{\Theta}_l)$  та іншого  $\hat{\alpha}_m = f_m(\hat{\Theta}_m)$  вимірювачів.

$$\begin{aligned} \hat{\alpha}_p &= \hat{\alpha}_l + C_p^{-1} \cdot C_m \cdot (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_l) = \\ &= \hat{\alpha}_l + W \cdot (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_l) = (I - W) \cdot \hat{\alpha}_l + W \cdot \hat{\alpha}_m; \end{aligned} \quad (3)$$

$$C_p = C_l + C_m, \quad (4)$$

де  $C_i$  – матриця точності оцінок  $i$ -го вимірювача, яка є зворотною до кореляційної матриці помилок (КМП) оцінювання параметру  $C_i^{-1}$  ( $i = p, l, m$ );  $I$  – одинична матриця.

Відомо [5, 21–23], що точності оцінювання параметрів (тобто елементи матриць точності  $C_i$ ) залежать не тільки від точності і складу первинно вимірюваних параметрів, але і від просторового розташування пунктів вимірювання і об'єкта, параметри якого визна-

чаються. Тоді і матриця вагових коефіцієнтів (МВК)  $W = C_p^{-1} \cdot C_m$ , що входить у вираз (3) для визначення результуючої оцінки, також залежить від значень цих параметрів, які заздалегідь не завжди відомі. Тому пряме застосування алгоритму (1) представляється скрутним. Виходячи з цього, не зупиняючись на можливих шляхах отримання МВК, проведемо аналіз точності її визначення на точність результуючої оцінки.

Припустимо, що оцінка параметру об'єкта отримана з використанням двох різних вимірників як в [20]. Результуюча оцінка вектора стану визначається згідно (3). Однак замість оптимального значення МВК  $W = C_p^{-1} \cdot C_m$  використовується її оцінка  $\hat{W}$ . Вважаємо, що математичне очікування і КМП оцінювання МВК відомі. Оцінимо вплив помилок визначення МВК на точність результуючої оцінки параметра. Для цього використовуємо залежність (3), замінивши матрицю вагових коефіцієнтів  $W$  її оцінкою  $\hat{W}$ :

$$\hat{\alpha}_p = \hat{\alpha}_l + \hat{W} \cdot (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_l) = (I - \hat{W}) \cdot \hat{\alpha}_l + \hat{W} \cdot \hat{\alpha}_m. \quad (5)$$

Як видно з останнього виразу, результуюча оцінка являє собою функцію від вектора, що визначається складом наявних оцінок:

$$\hat{A}^T = \left\| \hat{\alpha}_l \quad \hat{\alpha}_m \quad \hat{W} \right\|.$$

Крім того, на даному етапі неможливо використувати припущення про некорельованість складових вектора  $\hat{A}$ , не обумовлюючи способи їх отримання. Тому складові вектора вимірювань вважаємо, в загальному випадку, блочно-корельованими. Кореляція складових блоків, визначається умовами прийому сигналів, складом первинних вимірювань, а також взаємним розташуванням пунктів вимірювання і об'єкта. У зв'язку з цим залежність (5) представимо у вигляді:

$$\hat{\alpha}_p = b(\hat{A}).$$

Причому, функція  $b(\cdot)$  є, в загальному випадку, нелінійною. Це визначає складність вирішення поставленого завдання. Однак, наявність апіорної інформації про значення результуючої оцінки  $\hat{\alpha}_p$ , яка може бути визначена одним з вимірювачів, і за умови малості помилок її виміру, дозволяє застосувати метод лінеаризації залежності  $b(\cdot)$  для оцінки впливу точності вектора  $\hat{A}$  на точність  $\hat{\alpha}_p$ . Крім того, такі припущення виправдані і самою постановкою завдання – дослідити можливості використання оцінки МВК в алгоритмі отримання результуючої оцінки. Тому, припускаючи, що функція  $b(\hat{A})$  на будь-якій досить вузькій ділянці близька до лінійної, представимо її у вигляді розкладання в ряд Тейлора в околиці точки  $A_0$  і збережемо два перші доданки:

$$\hat{\alpha}_p = b(A_0) + B \cdot (\hat{A} - A_0). \quad (6)$$

Тоді математичне очікування і КМП результуючої оцінки записуються відповідно виразами:

$$M[\hat{\alpha}_p] = b(A_0); \quad (7)$$

$$C_p^{-1} = B \cdot C_{aw}^{-1} \cdot B^T, \quad (8)$$

де

$$\mathbf{C}_{\alpha W}^{-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_1^{-1} & \mathbf{R}_{lm} & \mathbf{R}_{lw} \\ \mathbf{R}_{ml} & \mathbf{C}_m^{-1} & \mathbf{R}_{mw} \\ \mathbf{R}_{wl} & \mathbf{R}_{wm} & \mathbf{C}_w^{-1} \end{bmatrix}$$

– симетрична КМП оцінювання параметру різними вимірювачами, які не використовують надмірність, і помилок оцінювання МВК. Причому, за умови некорельованості оцінок параметру, отриманих різними вимірювачами, блоки  $\mathbf{R}_{lm}$  та  $\mathbf{R}_{ml}$  – є нульовими. А за умови некорельованості помилок оцінювання МВК та параметру, відповідні блоки  $\mathbf{R}_{lw}$ ,  $\mathbf{R}_{wl}$  і  $\mathbf{R}_{mw}$ ,  $\mathbf{R}_{wm}$  також є нульовими;

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{d\mathbf{b}(\hat{\mathbf{A}})}{d\alpha_1} & \frac{d\mathbf{b}(\hat{\mathbf{A}})}{d\alpha_m} & \frac{d\mathbf{b}(\hat{\mathbf{A}})}{d\mathbf{W}} \end{bmatrix}$$

– блокова матриця перерахунку результуючої оцінки  $\hat{\alpha}_p$  в оцінки  $\hat{\alpha}_1$  і  $\hat{\alpha}_m$ , отримані різними вимірювачами, і оцінку МВК  $\hat{\mathbf{W}}$  і

$$\frac{d\mathbf{b}(\hat{\mathbf{A}})}{d\mathbf{k}} = \begin{bmatrix} \frac{d\mathbf{b}(\hat{\mathbf{A}})}{dk_1} & \frac{d\mathbf{b}(\hat{\mathbf{A}})}{dk_2} & \frac{d\mathbf{b}(\hat{\mathbf{A}})}{dk_i} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де під  $\mathbf{k}$  маються на увазі матриці  $\alpha_1$ ,  $\alpha_m$  або  $\mathbf{W}$ , а під  $k_1, k_2, \dots, k_i$  – елементи цих матриць, а  $i$  – їх розмірність.

З урахуванням (5) і правила диференціювання добутку матриць [26], перепишемо величини, що входять в (9), у вигляді:

$$\frac{d\mathbf{b}(\hat{\mathbf{A}})}{d\hat{\mathbf{b}}} = (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{W}}) \begin{bmatrix} \frac{d\hat{\alpha}_1}{d\alpha_{11}} & \frac{d\hat{\alpha}_1}{d\alpha_{12}} & \dots & \frac{d\hat{\alpha}_1}{d\alpha_{1l}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{d\hat{\mathbf{W}}}{d\alpha_{11}} & \frac{d\hat{\mathbf{W}}}{d\alpha_{12}} & \dots & \frac{d\hat{\mathbf{W}}}{d\alpha_{1l}} \end{bmatrix} (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1);$$

$$\frac{d\mathbf{b}(\hat{\mathbf{A}})}{d\hat{\mathbf{m}}} = \hat{\mathbf{W}} \begin{bmatrix} \frac{d\hat{\alpha}_m}{d\alpha_{m1}} & \frac{d\hat{\alpha}_m}{d\alpha_{m2}} & \dots & \frac{d\hat{\alpha}_m}{d\alpha_{mm}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{d\hat{\mathbf{W}}}{d\alpha_{m1}} & \frac{d\hat{\mathbf{W}}}{d\alpha_{m2}} & \dots & \frac{d\hat{\mathbf{W}}}{d\alpha_{mm}} \end{bmatrix} (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1);$$

$$\frac{d\mathbf{b}(\hat{\mathbf{A}})}{d\mathbf{W}} = \begin{bmatrix} \frac{d\hat{\mathbf{W}}}{dW_{11}} & \frac{d\hat{\mathbf{W}}}{dW_{12}} & \dots & \frac{d\hat{\mathbf{W}}}{dW_{nn}} \end{bmatrix} (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1).$$

Звідки легко отримати вираз для матриці перерахунку результуючої оцінки  $\hat{\alpha}_p$  в оцінки  $\hat{\alpha}_1$  і  $\hat{\alpha}_m$ , отримані різними вимірювачами, і оцінку МВК  $\hat{\mathbf{W}}$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} - \hat{\mathbf{W}} + \frac{d\hat{\mathbf{W}}}{d\hat{\mathbf{b}}}(\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1) & \hat{\mathbf{W}} + \frac{d\hat{\mathbf{W}}}{d\hat{\mathbf{m}}}(\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1) & \hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Підстановка (10) в (8) дозволяє визначити вираз для КМП результуючої оцінки  $\hat{\alpha}_p$  при використанні корельованих оцінок МВК та оцінок параметру,

отриманих різними вимірювачами з використанням мінімально-достатнього числа первинних вимірювань. Однак, обумовлена таким чином залежність досить громіздка і не зручна для аналізу. У зв'язку з цим, введемо ряд припущень, що дозволяють спростити вираз, що отримується. Так, без втрати спільності міркувань, можна ввести припущення про некорельованість оцінок параметру  $\hat{\alpha}_1$  та  $\hat{\alpha}_m$ , отриманих різними вимірювачами. Як видно з (1) і (2), таке припущення цілком виправдано, оскільки воно ґрунтується на виконанні (3). Тоді, за умови некорельованості оцінок параметру  $\hat{\alpha}_1$  та  $\hat{\alpha}_m$ , отриманих різними вимірювачами, вираз для КМП результуючої оцінки  $\hat{\alpha}_p$  приймає вигляд

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_p^{-1} = & (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{W}} + \mathbf{Q}_1) \mathbf{C}_1^{-1} (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{W}} + \mathbf{Q}_1)^T + \\ & + (\hat{\mathbf{W}} + \mathbf{Q}_m) \mathbf{C}_m^{-1} (\hat{\mathbf{W}} + \mathbf{Q}_m)^T + \\ & + (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1) \mathbf{C}_w^{-1} (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1)^T + \\ & + 2 (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{W}} + \mathbf{Q}_1) \mathbf{R}_{w1} (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1)^T + \\ & + 2 (\hat{\mathbf{W}} + \mathbf{Q}_m) \mathbf{R}_{wm} (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1)^T, \end{aligned} \quad (11)$$

де  $\mathbf{Q}_i = \frac{d\hat{\mathbf{W}}}{d\alpha_i}(\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1)^T$ , причому матриці  $\mathbf{Q}_i$  і  $\mathbf{R}_{wi}$  не-нульові тільки в тому випадку, коли для розрахунку МВК використовується оцінка  $\hat{\alpha}_i$ .

Використання постійного і не залежного від оцінок  $\hat{\alpha}_1$  та  $\hat{\alpha}_m$ , але не обов'язково оптимального, значення оцінки МВК  $\hat{\mathbf{W}}$  також спрощує вираз для КМП результуючої оцінки  $\hat{\alpha}_p$ . Дане припущення може бути виправдане близькими до постійних значеннями помилок оцінювання векторів  $\hat{\alpha}_1$  та  $\hat{\alpha}_m$  незалежними вимірювачами в заданій області простору. У цьому випадку вираз (11) спрощується і приймає вигляд:

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_p^{-1} = & (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{W}}) \mathbf{C}_1^{-1} (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{W}})^T + \\ & + \hat{\mathbf{W}} \mathbf{C}_m^{-1} \hat{\mathbf{W}}^T + (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1) \mathbf{C}_w^{-1} (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1)^T. \end{aligned} \quad (12)$$

Якщо ввести припущення про високу точність оцінок  $\hat{\alpha}_1$  та  $\hat{\alpha}_m$ , що виправдовується у разі досить високої якості обробки, то внесок у  $\mathbf{C}_p^{-1}$  двох перших доданків (12) незначний, а сам вираз приводиться до вигляду:

$$\mathbf{C}_p^{-1} = (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1) \mathbf{C}_w^{-1} (\hat{\alpha}_m - \hat{\alpha}_1)^T. \quad (13)$$

У цьому випадку точність оцінювання  $\hat{\alpha}_p$  залежить від точності оцінювання МВК і величини нев'язки математичних очікувань оцінок параметра, отриманих різними вимірювачами одночасно. Тому, за умови незсуненості оцінок параметра, отриманих різними вимірювачами, вираз (13) прагне до нуля.

Наведені співвідношення для КМП  $\mathbf{C}_p^{-1}$  результуючої оцінки  $\hat{\alpha}_p$  взаємопов'язані з виразом, отриманим в (4). Так, використання для отримання результуючої оцінки оптимального значення матриці вагових коефіцієнтів (елементи матриці  $\mathbf{C}_w^{-1}$  прагнуть до нуля) призводить вираз (12) доотриманого в (4) вигляду:

$$\mathbf{C}_p^{-1} = (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{W}}) \mathbf{C}_1^{-1} (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{W}})^T + \hat{\mathbf{W}} \mathbf{C}_m^{-1} \hat{\mathbf{W}}^T = (\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_m)^{-1}. \quad (14)$$



Тобто, якщо не враховувати помилки визначення МВК, то отримаємо вираз для КМП результуючої оцінки наведений при постановці умов дослідження. Це зайвий раз підтверджує правильність приведених викладок.

## 5. Висновки

З метою подальшого розвитку алгоритмів об'єднання надлишкової інформації, було проведено аналіз впливу помилок визначення МВК на точність результуючої оцінки в алгоритмі комплексування інформації незалежних вимірювачів.

За рахунок заміни оптимального значення МВК її оцінкою і доповнення результуючої оцінки параметру її складовими була отримана результуюча КМП. От-

римана залежність досить громіздка і не зручна для аналізу. З метою зручності подальшого аналізу введено ряд припущень, що дозволяють спростити отриманий вираз для КМП.

Показано, що складові КМП результуючої оцінки параметру  $\hat{\alpha}_p$  залежить не тільки від точності оцінок  $\hat{\alpha}_1$  та  $\hat{\alpha}_m$ , отриманих різними вимірювачами одночасно, але і від точності оцінювання МВК  $\hat{W}$ , методів її оцінювання і величини нев'язки оцінок параметру, отриманих різними вимірювачами одночасно.

Отримані вирази дозволяють не тільки оцінити вплив помилок визначення МВК на точність визначення параметру, але й, при заданій точності вимірювання параметру різними вимірювачами і допустимих помилках результуючої оцінки, висувати вимоги до величини помилок визначення МВК.

## Література

1. Абрамов, Ю. О. Моніторинг надзвичайних ситуацій [Текст] / Ю. О. Абрамов, Є. М. Грінченко, О. Ю. Кірючкін та ін. – Х.: АЦЗУ, 2005. – 530 с.
2. Бессонный, В. Л. Использование метода информационной избыточности для обеспечения достоверности результатов мониторинга чрезвычайных ситуаций [Текст] / В. Л. Бессонный // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2008. – Вип. 8. – С. 44-51.
3. Кондратов, В. Т. Теория избыточных измерений [Текст] / В. Т. Кондратов // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2006. – № 5. – С. 23-33.
4. Храпов, Ф. И. К вопросу использования различных видов избыточности для оценки состояния измерительных систем с труднодоступными первичными измерительными преобразователями в процессе эксплуатации [Текст] / Ф. И. Храпов, // Вестник метролога. – 2010. – № 3. – С. 11-15.
5. Ширман, Я. Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех [Текст] / Я. Д. Ширман, В. Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
6. Мотылев, К. И. Обработка избыточной траекторной информации с учетом корреляции ошибок измерений [Текст]: зб. наук. пр. / К. И. Мотылев // Автоматика, телемеханика, зв'язок. – 2011. – № 27. – С. 45-49.
7. Быстров, В. А. Влияние избыточных измерений на оценку параметров [Текст] / В. А. Быстров, Р. Н. Давыдов, Е. П. Лебедев, А. Г. Мальцев. – М.: РТИ им. академика А. Л. Минца АН СССР, 1988. – 20 с.
- Мотылев, К. И. Обработка избыточной траекторной информации в измерительно-вычислительных системах [Текст] / К. И. Мотылев, М. В. Михайлов, В. В. Паслен // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы: научно-технический журнал. – 2008. – № 2 (22). – С. 112-116.
8. Бондаренко, Л. Н. Анализ тестовых методов повышения точности измерений [Текст] / Л. Н. Бондаренко, Д. И. Нефедьев // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2014. – № 1 (7). – С. 15-20.
9. Ткаченко, В. Н. Применение избыточности входных данных в задаче определения координат цели пассивными многопозиционными комплексами [Текст] / В. Н. Ткаченко, В. В. Коротков, Е. К. Поздняков // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 4 (13). – С. 64-67.
10. Сейдж, Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении [Текст]: пер. с англ. / Э. Сейдж, Дж. Милс; под ред. Б.Р.Левина. – М.: Связь, 1978. – 496 с.
11. Караваев, В. В. Статистическая теория пассивной локации [Текст] / В. В. Караваев, В. В. Сазонов. – М.: Радио и связь, 1987. – 240 с.
12. Хохлов, М. В. Алгоритм определения локальной топологической избыточности телеизмерений на гиперграфе измерений [Текст]: Сб. докладов III междунар. науч.-практ. конф. / М. В. Хохлов // Энергосистема: управление, конкуренция, образование: В 2 т. Т. 1. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – С. 423-427.
13. Нагин, И. А. Алгоритм комплексирования НАП СРНС и автомобильных датчиков скоростей вращения колес [Текст] / И. А. Нагин, А. Ю. Шатилов // Радиотехника. – 2012. – № 6. – С. 126-130.
14. Шатилов, А. Ю. Алгоритм комплексирования приемника СРНС и ИНС по разомкнутой схеме [Текст] / А. Ю. Шатилов, // Радиотехника. – 2008. – № 7. – С. 19-25.
15. Сурков, В. О. Анализ состава навигационных систем для подвижных наземных объектов и принципов их построения [Текст]: матер. II междунар. науч. конф. / В. О. Сурков // Технические науки: традиции и инновации. – Челябинск: Два комсомольца, 2013. – С. 34-37.
- Бобылев, А. О совместной обработке показаний инерциального блока и системы видеоанализа [Текст] / А. Бобылев, П. Кручинин, В. Чертополохов // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии. Труды 11-й международной научной конференции ФРЭМЭ'2014 с элементами научной молодежной школы. Т. 1. – ВГУ Владимир, 2014. – С. 344-346.
16. Никитин, О. Р. Комплексирование данных многоканального мониторинга земной поверхности [Текст] / О. Р. Никитин, А. Н. Кисляков, А. А. Шулятьев // Методы и устройства передачи и обработки информации. – 2011. – Вып.13. – С. 68-71.

17. Алгулиев, Р. М. Комплексирование измерений для идентификации траектории полета летательного аппарата [Текст] / Р. М. Алгулиев, Г. Г. Оруджов, Э. Н. Сабзиев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. – № 2 (131). – С. 57–60.
18. Кулявец, Ю. В. Об'єднання надлишкової інформації з метою просторового моніторингу довкілля [Текст] / Ю. В. Кулявец, О. І. Богатов, О. А. Єрмакова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 6, № 9 (66). – С. 36–39. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/18933/17043>
19. Тихонов, В. И. Статистическая радиотехника [Текст] / В. И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1982.
20. Мирский, Г. Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов [Текст] / Г. Я. Мирский. – М.: Энергия, 1972. – 456 с.
21. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных [Текст] / под ред. П. А. Агаджанова, В. Е. Дулевича, А. А. Коростелева. – М.: Сов.радио, 1969. – 504 с.
22. Рао, С. Р. Линейные статистические методы и их применение [Текст] / С. Р. Рао; под. ред. Ю. В. Линника; пер. с англ. – М.: Наука, 1968. – 574 с.
23. Мирский, Г. Я. Характеристики стохастической взаимосвязи и их измерения [Текст] / Г. Я. Мирский. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
24. Красногоров, С. И. Матричный анализ в задачах отыскания экстремумов [Текст] / С. И. Красногоров. – Ногинск: Научно-исследовательский центр 30 ЦНИИ МО, 1998. – 100 с.

*У даній роботі пропонується алгоритм усунення аномалій при вимірюванні сигналів у процесах, що протікають в умовах невизначеності. Запропоновано математичну модель представлення довільного сигналу, параметри якої розраховані для набору стандартних уявлень складають основу сформованої бази еталонів. На основі аналізу сформованої бази еталонів сигналів доводиться можливість застосування даної моделі для усунення аномалій в поточному сигналі*

*Ключові слова: часові ряди, нечітка логіка, база знань, класифікація аномалій, тензометрія*

*В данной работе предлагается алгоритм устранения аномалий при измерении сигналов в процессах, протекающих в условиях неопределенности. Предложена математическая модель представления произвольного сигнала, параметры которой, рассчитанные для набора стандартных представлений, составляют основу сформированной базы эталонов. На основе анализа сформированной базы эталонов сигналов доказываемость возможность применения данной модели для устранения аномалий в текущем сигнале*

*Ключевые слова: временные ряды, нечеткая логика, база знаний, классификация аномалий, тензометрия*

УДК: 004.89

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.44166

# ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ АНОМАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Н. Б. Копытчук**

Доктор технических наук, профессор\*

E-mail: knb47@mail.ru

**П. М. Тишин**

Кандидат физико-математических наук, доцент\*

E-mail: tik88@mail.ru

**И. Н. Копытчук**

Старший преподаватель\*

E-mail: igor.kopytchuk@gmail.com

**И. Г. Милейко**

Кандидат технических наук, доцент\*

E-mail: mig3@ukr.net

\*Кафедра компьютерных интеллектуальных систем и сетей  
Одесский национальный политехнический университет  
пр. Шевченко, 1а, г. Одесса, Украина, 65044

## 1. Введение

Использование экспертных оценок широко распространено в анализе процессов в сложных технических, экономических и социальных системах. Модели нечеткого подхода, рассматривающие временные ряды (ВР)

как реализацию нечеткого динамического процесса, получили название нечетких ВР [1–3].

Нечеткое моделирование временных рядов представляет новую научную область, специфика которой по отношению к статистическому и нейросетевому моделированию ВР определяется нечеткими значе-